

УДК 615.84
ББК 51.230
П 32

Авторы-составители: Г. С. Митюрин, д-р физ.-мат. наук,
профессор;
И. А. Фаняев, аспирант

Рецензенты: В. В. Андреев, канд. физ.-мат. наук, доцент,
зав. кафедрой теоретической физики Гомельского
государственного университета им. Ф. Скорины;
И. О. Деликатная, канд. техн. наук, доцент
Белорусского торгово-экономического университета
потребительской кооперации

Рекомендован к изданию научно-методическим советом учрежде-
ния образования «Белорусский торгово-экономический университет
потребительской кооперации». Протокол № 3 от 14 февраля 2012 г.

Пищевая радиология : практикум к лабораторным занятиям для
П 32 студентов специальности 1-25 01 09 «Товароведение и экспертиза
товаров» специализации 1-25 01 09 01 «Товароведение и экспертиза
продовольственных товаров» / авт.-сост. : Г. С. Митюрин, И. А. Фа-
няев. – Гомель : учреждение образования «Белорусский торгово-
экономический университет потребительской кооперации», 2012. –
56 с.

ISBN 978-985-461-963-7

УДК 615.84
ББК 51.230

ISBN 978-985-461-963-7

© Учреждение образования «Белорусский
торгово-экономический университет
потребительской кооперации», 2012

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Практикум к лабораторным занятиям по дисциплине «Пищевая радиология» составлен в соответствии с требованиями учебного плана и программы дисциплины.

Целями данного издания являются формирование у студентов прочных знаний в области радиологии пищевых продуктов, выработка умений и навыков, необходимых для практической деятельности при поставках потребителям экологически чистых и безопасных продуктов питания.

Предлагаемый практикум окажет помощь студентам при решении следующих задач:

- изучение основных закономерностей радиоактивного распада радионуклидов;
- изучение источников радиоактивности, единиц измерения радиоактивности, доз и мощностей, физической природы ядра и ионизирующих α -, β -, γ - излучений;
- получение информации о путях поступления радиоактивных веществ в организм человека, их воздействии на внутренние органы человека;
- приобретение практических навыков по отбору проб продуктов питания для оценки их радиоактивного загрязнения;
- освоение различных методик радиометрического контроля продуктов питания, приобретение навыков работы с радиометрической и дозиметрической аппаратурой;
- умение делать выводы по результатам оценки радиоактивной загрязненности пищевых продуктов, вносить предложения по целевому использованию исследованных продуктов, оформлять документы по отбору проб и результатам оценки.

Настоящий практикум включает общие требования по подготовке и выполнению лабораторных работ, требования по составлению отчета о выполнении лабораторных работ, тематический план занятий, задания для лабораторных работ, методические указания по их выполнению, вопросы для самоконтроля, а также список рекомендуемой литературы.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ И ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Для выполнения лабораторной работы, тема которой сообщается заранее, студент должен ознакомиться с методическими указаниями к работе и отметить возникшие вопросы, изучить соответствующие разделы рекомендуемой литературы и конспект лекций, решить предложенные задачи к данной работе и только потом подробно изучить порядок проведения работы, а также сделать необходимые записи в тетради для лабораторных работ по ходу выполнения измерений и вычислений.

Придя на занятие, студент индивидуально предъявляет преподавателю свою тетрадь для лабораторных работ с записями и сдает отчет по предыдущей работе. Затем с разрешения преподавателя получает необходимые приборы и принадлежности, ознакомливается с лабораторной установкой.

Перед выполнением лабораторной работы студент проходит собеседование с преподавателем с целью выяснения его подготовленности к занятию. Неподготовленный студент к выполнению работы не допускается. В ходе собеседования можно задать преподавателю все вопросы, возникшие при подготовке, и уточнить ход выполнения работы.

По окончании измерений (не разбирая установки) студент представляет полученные результаты преподавателю для проверки и приводит в порядок свое рабочее место.

На первом занятии все студенты должны ознакомиться с общими правилами работы в лаборатории, после чего вместе с преподавателем, который проводит занятие, расписаться в журнале учета инструктажа по технике безопасности. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к занятию не допускаются. Выполнение нижеприведенных правил является обязательным.

Основные правила работы в лаборатории

1. Студент может находиться в лаборатории только в присутствии преподавателя и с его ведома. При входе в лабораторию студент должен зарегистрироваться у своего преподавателя, а в часы занятий других групп – получить разрешение на присутствие от преподавателя, ведущего занятие.

2. Вход в лабораторию в головных уборах и верхней одежде запрещается.

3. Студент допускается к выполнению лабораторной работы только с разрешения преподавателя, после предварительной беседы, устанавливающей степень подготовленности студента. До беседы студент может с разрешения преподавателя ознакомиться с лабораторной установкой.

4. Входить и выходить из лаборатории во время занятий можно только с разрешения преподавателя.

5. Студент обязан строго придерживаться порядка проведения работы, указанного в задании, полученном от преподавателя. Особое внимание должно уделяться требованиям по технике безопасности при работе на лабораторной установке, а также указаниям о допустимых предельных нагрузках для данной установки.

6. Студенту запрещается включать лабораторную установку в электросеть без разрешения преподавателя.

7. Запрещается брать приборы с других лабораторных установок. В случае отсутствия необходимого прибора следует обратиться к преподавателю.

8. Запрещается даже на некоторое время отходить от работающей лабораторной установки. При необходимости покинуть лабораторию, следует выключить (остановить) лабораторную установку и предупредить преподавателя.

9. На рабочем месте (столе) должны находиться только необходимые приборы, рабочая тетрадь, ручка, линейка. После работы необходимо убрать свое рабочее место.

10. Категорически запрещается принимать пищу в лаборатории.

11. На занятиях в лаборатории следует сохранять тишину, соблюдать порядок, быть аккуратными и не мешать работе товарищей.

12. Студенты, опоздавшие на занятия, в лабораторию допускаются только с разрешения преподавателя.

13. Студент, заметивший любую неисправность или опасность, должен немедленно сообщить об этом преподавателю.

ТРЕБОВАНИЯ ПО СОСТАВЛЕНИЮ ОТЧЕТА О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Обработка результатов измерений и оформление отчета проводится после выполнения лабораторной работы. Отчет о работе должен полностью отражать все проведенные измерения, вычисления и окончательный результат определения величины. Все исправления и дополнения к отчету следует вносить в первоначальный экземпляр с сохранением всех пометок преподавателя.

Отчет должен содержать следующие пункты:

- краткую формулировку цели работы;
- краткое изложение теории метода измерений с приведением основных формул и указанием всех величин, используемых в этих формулах;
- схематический чертеж (схему) с подробной спецификацией деталей схемы;
- перечень и последовательность выполняемых заданий лабораторной работы;
- результаты измерений в форме таблиц;
- вычисление требуемых результатов (записывается расчетная формула, в нее подставляются числовые значения величин; ответ записывается с единицей измерения);
- вычисление относительной и абсолютной погрешностей;
- окончательный результат вычисленной величины;
- графики расчетов окончательного результата (при необходимости);
- выводы о выполненной работе (указываются полученные результаты, величины погрешностей и их источники).

При *защите* лабораторной работы учитываются следующие факторы:

- результаты опросов перед каждой работой;
- качество выполнения каждой лабораторной работы (верное получение экспериментальных результатов, грамотное и аккуратное представление записей решения домашних задач, правильное оформление лабораторных отчетов);
- результаты опроса при защите лабораторной работы.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН
для студентов специальности «Товароведение
и экспертиза товаров» специализации «Товароведение
и экспертиза продовольственных товаров»

Раздел, тема	Количество аудиторных часов (полный срок обучения)			Количество аудиторных часов (сокращенный срок обучения)		
	всего	в том числе		всего	в том числе	
		лекции	лабораторные		лекции	лабораторные
1. Введение в радиологию	8	4	4	4	4	—
1.1. Место радиологии в обществе. Физическая природа радиоактивных излучений и единицы измерения	2	2	—	—	2	—
1.2. Механизм действия радиоактивных излучений	6	2	4	—	2	—
2. Радионуклиды в пищевых продуктах	10	6	4	8	4	4
2.1. Радиационная химия основных компонентов пищевых продуктов	2	2	—	—	2	—
2.2. Пищевые цепи и радиоизотопы (йод, цезий, стронций) в пищевых цепях	2	2	—	—	2	4
2.3. Практическое применение облучения пищевых продуктов	6	2	4	—	—	—
3. Радиационная гигиена и радиологический контроль пищевых продуктов	18	6	12	6	2	4
3.1. Радиационная гигиена	6	2	4	—	—	—
3.2. Методика отбора проб пищевых продуктов для определения содержания радионуклидов в пищевых продуктах	6	2	4	4	2	2
3.3. Методы регистрации и контроля за содержанием радионуклидов в продуктах питания	6	2	4	2	—	2
Итого	36	16	20	18	10	8

ЗАДАНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ И ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Лабораторная работа 1 МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Цель работы: ознакомиться с механизмом воздействия радиоактивности на организм человека; получить практические навыки проведения измерений ионизирующих излучений радиометром-дозиметром РКС-107 на объекты окружающей среды.

Материальное обеспечение

Радиометр-дозиметр РКС-107.

Теоретические сведения

Воздействию ионизирующего излучения человек подвергается постоянно за счет следующих факторов:

- воздействия природных излучений (солнечная и космическая радиация, излучение из недр земли и др.);
- работы с источниками ионизирующего излучения на предприятиях, в учреждениях (воздействие стен зданий, использование строительных материалов и др.);
- проведения медицинских рентгенорадиологических процедур и т. п.

Воздействие ионизирующего излучения на человека характеризуется следующими особенностями:

1. У живых организмов нет специальных органов для распознавания действия этого фактора.

2. Ионизирующая радиация способна вызвать отдаленные последствия:

- злокачественные опухоли;
- снижение иммунитета;
- сокращение продолжительности жизни.

3. Ионизирующая радиация имеет свойство глубоко проникать в облучаемую ткань.

4. Ионизирующая радиация способна к суммарному кумулятивному действию.

5. Поражающий эффект возникает при ничтожных количествах

поглощенной энергии. При облучении человека смертельной дозой γ -излучения, равной 6 Гр, в его организме выделяется энергия, равная примерно: $E = mD = 70 \text{ кг} \cdot 6 \text{ Гр} = 420 \text{ Дж}$. Такая энергия соизмерима с энергией, полученной от одной чайной ложки горячей воды.

Радиоактивное облучение человека. В настоящее время проникающая радиация воздействует на организм человека следующим образом:

1. Внешнее облучение человека γ -лучами из космоса, с поверхности земли (вода, воздух, строительные материалы).

2. Проникновение газообразного элемента радона в атмосферу, а затем с вдыхаемым воздухом в организм человека.

3. Переход радиоактивности в растения из почвы и проникновение ее в организм человека с пищей.

Поскольку энергия, поглощаемая тканью человека, мала, можно предположить, что тепловое воздействие ионизирующей радиации не является непосредственной причиной лучевой болезни и гибели человека. Действительно, *в основе биологического воздействия ионизирующей радиации на живой организм лежат химические процессы, происходящие в живых клетках после их облучения.* Радиоактивные излучения вызывают ионизацию атомов и молекул живых тканей, в результате чего происходит разрыв нормальных молекулярных связей и изменение химической структуры клеточных макромолекул. Эти изменения влекут за собой либо гибель, либо мутацию клеток.

Воздействие ионизирующего излучения на ткани организма имеет несколько стадий:

1. *Образование заряженных частиц.* Проникающие в ткани организма α - и β -частицы теряют энергию вследствие электрических взаимодействий с электронами тех атомов, вблизи которых они проходят.

2. *Электрические взаимодействия.* Под влиянием проникающей радиации от атомов ткани организма отрываются электроны. Они заряжены отрицательно, поэтому остальная часть исходного нейтрального атома становится положительно заряженной. Этот процесс называется ионизацией. Оторвавшиеся электроны могут ионизировать другие атомы.

3. *Физико-химические изменения.* Свободный электрон и ионизированный атом не могут долго находиться в возбужденном состоянии. Поэтому они вступают в сложную цепь реакций, в результате которых образуются новые молекулы. В их состав входят такие чрезвычайно реакционно-способные молекулы, как свободные радикалы (OH^- – радикал гидроксила, HO_2 – гидроперекисный радикал, H_2O_2 – перекись водорода, O – атомарный кислород и др.). Они обладают сильными окислительными и токсическими свойствами.

4. *Химические изменения.* Образовавшиеся свободные радикалы реагируют друг с другом и с другими молекулами. Вступая в соединения с органическими веществами, они вызывают значительные химические изменения в клетках и тканях. Химический состав клетки изменяется в результате радиоллиза ее компонентов или метаболических процессов взаимодействия различных клеточных органелл, денатурации белковых и других органических структур с образованием токсических гистаминоподобных веществ. Наступает деполимеризация гиалуроновой кислоты, глико- и липопротеидов, нарушается проницаемость клеточных мембран, структура ДНК и РНК.

5. *Биологические эффекты.* Они могут наступить как через несколько секунд, так и через десятилетия после облучения и явиться причиной немедленной гибели клеток или способствовать:

- развитию ранних изменений в клетках, которые приводят к возникновению рака, генетических мутаций, оказывающих влияние на будущие поколения; поражению плода и зародыша вследствие облучения матери в период беременности; развитию лучевой болезни, характеризующейся развитием геморрагического синдрома, кишечного синдрома и церебрального синдрома;

- развитию отдаленных последствий, выражающихся в увеличении количества раковых заболеваний, лейкозов, повышении генетического груза, уменьшении продолжительности жизни.

Наибольшему воздействию радионуклидов подвергаются кровеносная система и половые железы, так как они наиболее уязвимы даже при малых дозах радиации. Попавшие в организм животных и человека радиоактивные изотопы, так же как и стабильные изотопы элементов, выводятся в результате обмена из организма человека и животных.

Различают прямое и косвенное воздействие радионуклидов.

При *прямом* воздействии молекула испытывает изменения непосредственно от излучения при прохождении через нее фотона или заряженной частицы, а поражающее действие связано с актом возбуждения и ионизации атомов и макромолекул (в первую очередь, гормонов и ферментов). В зависимости от дозы поглощенных лучей может происходить процесс деполимеризации коллоидных структур или, наоборот, процесс их полимеризации.

При *непрямом (косвенном)* воздействии молекула получает энергию, приводящую к ее изменениям, от продуктов радиоллиза воды (H_2O_2 , O_2^- , OH^-) или растворенных веществ, а не поглощенной энергии самими молекулами.

Для измерения энергии (интенсивности) воздействия ионизирую-

щего излучения, степени ионизации, чувствительности тканей при непрямом действии излучения используется понятие дозы. *Доза* – это количество энергии излучения, передаваемое веществу.

Воздействие на объект оказывает только та часть энергии излучения, которая поглощается объектом. Биологический эффект в облучаемом объекте под воздействием ионизирующих излучений зависит от величины поглощенной энергии. Для характеристики энергии ионизирующего излучения, поглощенной конкретным объектом, используется понятие поглощенной дозы.

Поглощенная доза – это энергия радиоактивных излучений, поглощенная единицей массы облучаемого вещества.

За единицу поглощенной дозы в Международной системе единиц (СИ) принят грей (Гр). Внесистемной единицей является рад – радиационная адаптированная доза (соотношение единиц: 1 Гр = 100 рад).

Мощность поглощенной дозы – поглощенная доза в единицу времени.

За единицу мощности поглощенной дозы в СИ принят грей в секунду (Гр/с), внесистемной единицей является рад в секунду (рад/с); соотношение единиц: 1 Гр/с = 100 рад/с.

Поглощенная доза (D_n) рассчитывается по формуле

$$D_n = P_n \cdot t, \quad (1)$$

где P_n – мощность поглощенной дозы, Гр/с;

t – время, с.

Таким образом, зная мощность поглощенной дозы, можно рассчитать дозу, поглощенную человеком за определенное время.

Для определения степени воздействия излучения на человеческий организм с учетом взвешивающих коэффициентов используется понятие эквивалентной дозы.

Эквивалентной дозой называется поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для воздействующего вида излучения.

Эквивалентная доза ($D_{эв}$) определяется по формуле

$$D_{эв} = D_n \cdot K = P_n \cdot t \cdot K, \quad (2)$$

где t – время, с;

K – взвешивающий коэффициент;

P_n – мощность поглощенной дозы, Гр/с.

Единицей эквивалентной дозы в СИ принят зиверт (Зв); внеси-

стемной единицей является бэр – биологический эквивалент рада (соотношение единиц: $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$).

Для оценки эквивалентной дозы, полученной группой людей (персонал объекта народного хозяйства, жители населенного пункта и др.), используется понятие коллективной эквивалентной дозы.

Коллективная эквивалентная доза ($D_{\text{экв к}}$) – это средняя для населения доза, умноженная на численность населения. Измеряется она в человеко-Зивертах (чел.-Зв).

Мощность эквивалентной дозы – это эквивалентная доза, получаемая человеком в единицу времени. Измеряется она в зивертах в секунду (Зв/с); внесистемной единицей является бэр в секунду (бэр/с).

Мощность эквивалентной дозы ($P_{\text{экв}}$) рассчитывается следующим образом:

$$P_{\text{экв}} = D_{\text{экв к}} : t, \quad (3)$$

где $D_{\text{экв к}}$ – эквивалентная доза, чел.-Зв;

t – время, с.

Для Беларуси естественный уровень радиации (γ -фон) находится в пределах 20 микрорентген в час (мкР/ч). В настоящее время измерения проводятся в единицах СИ – зивертах. Перевод рентгенов в зиверты производится через внесистемные единицы при взвешивающем коэффициенте, равном единице (для γ -излучений). На основании утверждения, что для биоткани экспозиционная доза близка к поглощенной ($D_{\text{экс}} \approx D_n$), можно произвести пересчет размерностей измерений:

$$20 \text{ мкР/ч} \approx 20 \text{ мкрад/ч} = 20 \text{ мкбэр/ч} = 0,20 \text{ мкЗв/ч}.$$

Устройство, технические характеристики прибора РКС-107

РКС-107 – комбинированный прибор, выполняющий функции радиометра и дозиметра. Прибор предназначен для индивидуального контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях.

Прибор обеспечивает возможность следующих измерений:

- мощности полевой эквивалентной дозы γ -излучения (мкЗв/ч);
- плотности потока β -излучения с поверхности, загрязненной радионуклидами стронция-90 и иттрия-90;
- удельной активности радионуклида цезия-137 в водных растворах (Бк/г).

Прибор представляет собой носимую конструкцию (рисунок 1), состоящую из корпуса (1) и крышки (3), скрепленных между собой. К основанию прибора крепятся две легко съемные крышки: крышка отсека питания (6) и крышка-фильтр (5).

В корпусе смонтированы все элементы электрической схемы прибора: два газоразрядных счетчика СБМ-20, устройство управления, счетчик импульсов, преобразователь напряжения, табло жидкокристаллического индикатора, делитель частоты, таймер, устройство звуковой сигнализации.

На лицевой панели прибора расположены табло жидкокристаллического индикатора (2) и четыре кнопки, предназначенные для включения прибора (*Вкл.*), выбора режима его работы (*Режим*), пуска счетной схемы (*Пуск*) и выключения (*Выкл.*).

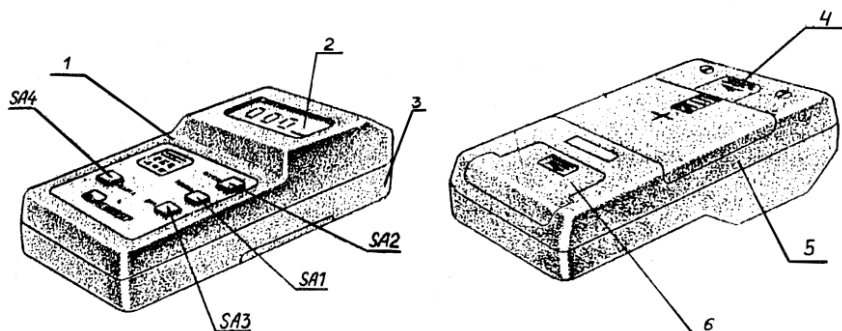


Рисунок 1 – Общий вид прибора РКС-107

На тыльной стороне прибора, в верхней части, имеется окно, закрытое крышкой (4), в которое выведен разъем для возможного подключения внешнего блока детектирования (в комплект прибора не входит).

В средней части крышки (3) находится крышка-фильтр (5). Если крышка-фильтр установлена, то прибор регистрирует только фоновое γ -излучение. При работе прибора в режимах радиометра и при измерении плотности потока β -излучения, удельной активности, эта крышка снимается, счетчики излучений оказываются закрытыми только пленочными фильтрами.

Требуемый режим измерения выбирается нажатием кнопки *Режим*, при котором на табло индикатора указатель режима работы (символ «черная полоса») перемещается на единицу измерения определяемой величины.

Аккумуляторная батарея устанавливается в нижний отсек (3), закрываемый съемной крышкой (6), и подключается к контактам печатной платы.

Прибор обеспечивает индикацию превышения значения мощности полевой эквивалентной дозы величин, равных 0,6 и 1,2 мкЗв/ч. Включение и выключение порогового устройства производится повторным нажатием кнопки *Вкл.* и сопровождается высвечиванием на табло индикатора символа «~».

На крышке-фильтре нанесены знаки.

Знак « ∇ » показывает направление перемещения запирающей защелки при снятии крышки-фильтра.

Знак «+» указывает центр плоскости расположения детекторов излучения; от него рассчитываются расстояния до образцовых и контрольных γ -источников при градуировке и поверке прибора.

На крышке отсека питания расположена стрелка (« \downarrow »), указывающая направление перемещения этой крышки при ее снятии.

Принцип работы прибора. В приборе применен ионизационный метод регистрации излучений, при котором используется эффект ионизации газовой среды, вызываемый воздействием на нее ионизирующего излучения. Для преобразования энергии ионизирующих излучений в энергию электрического тока используются газоразрядные счетчики.

При прохождении ионизирующей частицы через газовую среду образуются ионы, которые собираются на электродах счетчика. Положительные ионы движутся к катоду, отрицательные – к аноду. В электрической цепи прибора начинает проходить ток, который регистрируется измерительным устройством. По значению этого тока можно судить об интенсивности излучения или отсчитывать число зарегистрированных частиц по появляющимся импульсам, т. е. при попадании в рабочие объемы газоразрядных счетчиков γ -квантов и β -частиц на нагрузках счетчиков появляются импульсы, частота следования которых пропорциональна измеряемой величине. Импульсы, появившиеся в счетчике, поступают в устройство управления, где преобразуются в импульсы стандартной амплитуды и передаются на счетчик импульсов. Он подсчитывает импульсы, и на табло высвечиваются результаты измерений. После прекращения воздействия ионизирующих излучений на счетчик ток в цепи исчезает, так как газ внутри счетчика является изолятором.

Задание 1. Измерение мощности полевой эквивалентной дозы γ -излучения

Задание выполните в следующей последовательности:

1. Включите прибор, нажав кнопку *Вкл.* При каждом включении прибора раздается кратковременный звуковой сигнал, а на табло появляется информация в соответствии с рисунком 2. Указатель режима работы прибора при включении устанавливается в положение «мкЗв/ч».

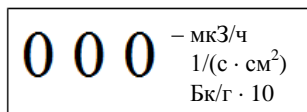


Рисунок 2 – Включение прибора

2. Нажмите кнопку *Пуск.* При каждом нажатии кнопки также раздается кратковременный звуковой сигнал, а на табло жидкокристаллического индикатора появляется точка (рисунок 3). Указатель режима работы начнет пульсировать, а прибор регистрировать измеряемую величину – в данном случае величину мощности полевой эквивалентной дозы внешнего γ -излучения в микрозивертах в час.

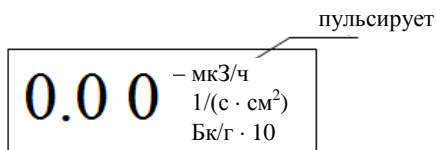


Рисунок 3 – Прибор в режиме работы

В конце цикла измерения (через $53 \pm 1,2$ с) вновь раздается звуковой сигнал. Указатель режима перестанет пульсировать, а на табло зафиксируется результат измерения (на примере, приведенном на рисунке 4, он равен 0,12 мкЗв/ч).

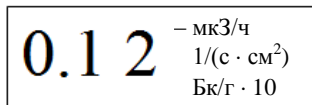


Рисунок 4 – Результат измерения

3. При малых значениях мощности полевой эквивалентной дозы

для получения более точного результата измерения целесообразно снять не менее пяти отсчетов показаний прибора. Показания прибора запишите в таблице 1 и вычислите их среднее арифметическое значение. При этом выключать и включать прибор нет необходимости. После индикации результата измерения одного отсчета нажмите вновь кнопку *Пуск* и дождитесь повторного результата измерения. Результаты измерений представьте в виде таблицы 1.

4. Выключите прибор, нажав кнопку *Выкл.*

Таблица 1 – Результаты измерений мощности полевой эквивалентной дозы γ -излучения, мкЗв/ч

Номер измерения	Исследуемое пространство	Мощность полевой эквивалентной дозы γ -излучения ($P_{экв}$)	Значение естественного радиационного γ -фона
1. ...			
2. ... и т. д.			
Среднее значение			

Задание 2. Измерение плотности потока β -излучения с поверхности, загрязненной радионуклидами стронция-90 и иттрия-90

Задание выполните в следующей последовательности:

1. Включите прибор, нажав кнопку *Вкл.*
2. Нажав кнопку *Режим*, установите указатель режима работы прибора в положение « $1/(с \cdot см^2)$ » (рисунок 5).

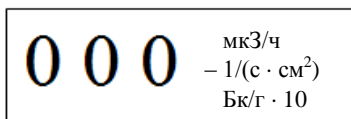


Рисунок 5 – Установление прибора в положение « $1/(с \cdot см^2)$ »

3. Расположив прибор относительно исследуемой поверхности на расстоянии не менее 150 см, нажмите кнопку *Пуск*.

В конце цикла измерения (через $37 \pm 1,0$ с) раздается кратковременный звуковой сигнал. Указатель режима прекратит пульсировать, а на табло отобразится результат измерения. Снимите отсчет фоновго показания прибора. Например, он равен $0,09 1/(с \cdot см^2)$, что указано на рисунке 6. Показания прибора запишите.

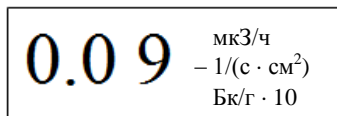


Рисунок 6 – Первое показание прибора

Повторите измерения не менее пяти раз и найдите среднее арифметическое отсчетов показаний (P_ϕ) в β -частицах в секунду с квадратного сантиметра.

4. Выключите прибор, нажав кнопку *Выкл.*

5. Снимите заднюю крышку-фильтр (позиция 4 на рисунке 1), поднесите прибор к исследуемой поверхности на расстояние не более

1 см от нее. Включите прибор кнопкой *Вкл.* Кнопкой *Режим* установите режим « $1/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$ », затем нажмите кнопку *Пуск*. Снимите отсчет показаний прибора (на примере, приведенном на рисунке 7, он равен 0,24 $1/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$). Запишите результат.

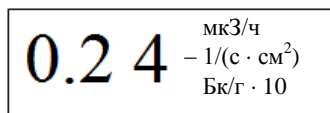


Рисунок 7 – Показание прибора при снятой крышке-фильтре

При малых значениях измеряемой величины плотности потока излучения с поверхности рекомендуется снимать не менее пяти отсчетов показаний и находить их среднее арифметическое (P_ϕ).

6. Определите загрязненность поверхности β -излучающими радионуклидами стронция-90 и иттрия-90, характеризующуюся величиной плотности потока β -частиц с поверхности (P_n), по формуле

$$P_n = (P_n + P_\phi) - P_\phi, \quad (4)$$

где $(P_n + P_\phi)$ – измеренное значение плотности потока излучения с поверхности (прибор без крышки-фильтра), $1/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$;

P_ϕ – фоновое показание прибора в β -частицах (прибор с крышкой-фильтром), $1/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$.

В примерах, показанных на рисунках 6 и 7, измеренное значение плотности потока β -излучения равно:

$$P_n = 0,24 - 0,09 = 0,15 \text{ 1/(с} \cdot \text{см}^2\text{)}.$$

7. Выключите прибор кнопкой *Выкл.* Установите крышку-фильтр на место. Результаты измерений представьте в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Результаты измерений плотности потока β -излучения с исследуемой поверхности для определения загрязненности радионуклидами стронция-90 и иттрия-90, $1/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$

Номер измерения	Показания прибора с установленной крышкой-фильтром (P_ϕ)	Показания прибора без крышки-фильтра (P_n)	Плотность потока β -излучения $((P_n + P_\phi) - P_\phi)$
1. ...			
2. ... и т. д.			
Среднее значение			

Вопросы для самоконтроля

1. Каков основной механизм воздействия радиации на биологическую ткань?
2. Что называется активностью?
3. Что называется эквивалентной, коллективной и поглощенной дозой?
4. В каких единицах измеряются поглощенная и эквивалентная дозы?
5. Для чего предназначен прибор РКС-107?
6. Каковы устройство и принцип работы прибора РКС-107?
7. Каков порядок измерения удельной активности цезия-137 в водных растворах?
8. Каков порядок измерения полевой эквивалентной дозы γ -излучения?

Лабораторная работа 2 ПИЩЕВЫЕ ЦЕПИ И РАДИОИЗОТОПЫ (ЙОД, ЦЕЗИЙ, СТРОНЦИЙ)

Цель работы: изучить основные пищевые цепочки радионуклидов; получить практические навыки проведения измерений по определению удельной активности радионуклида цезия-137 в исследуемом водном растворе и плотности потока β -излучений с исследуемой

поверхности.

Материальное обеспечение

1. Радиометр-дозиметр РКС-107.
2. Дистиллированная вода.
3. Сточная вода.

Теоретические сведения

Загрязнение радионуклидами продуктов питания протекает следующим образом: после того, как радионуклиды выпали на поверхность земли, происходит их включение в биологические объекты (траву, злаки, овощи, грибы и др.), куда они поступают с водой и минеральными веществами из почвы. Радионуклиды мигрируют к человеку по цепочке: почва – растение – человек. Такая цепочка прохождения радионуклидов через промежуточные продукты питания к человеку называется *пищевой цепочкой радионуклида*.

Следует помнить, что растения обладают неодинаковой способностью накапливать радионуклиды. По убывающей способности накапливать цезий-137 их можно расположить в следующей последовательности:

- разнотравье заболоченных лугов;
- зеленая масса люпина;
- многолетние злаковые травы;
- зеленая масса рапса, клевера, гороха, вики;
- солома овса;
- зеленая масса кукурузы;
- зерно овса, ячменя;
- картофель;
- кормовая свекла;
- зерно озимой ржи и пшеницы.

По убывающей способности накапливать стронций-90 растения располагаются иначе:

- зеленая масса клевера, люпина, гороха, рапса, вики, многолетних злаковых трав;
- солома ячменя;
- зеленая масса озимой ржи;
- кормовая свекла;
- зеленая масса кукурузы;

- солома овса, озимой ржи;
- зерно ячменя, овса, озимой ржи;
- картофель.

Существуют и другие пищевые цепочки:

- почва – растение – животное – молоко – человек;
- почва – растение – животное – мясо – человек.

В связи с этим повышается содержание радионуклидов в молоке, овощах, мясе и других видах сельскохозяйственной продукции.

Продвигаясь по пищевым цепочкам с питьевой водой, радионуклиды попадают в организм животных, в том числе сельскохозяйственных. Вместе с мясом и молоком животных они проникают в организм человека. Повышение концентрации радионуклидов в биологических объектах по сравнению с содержанием радиоактивных веществ в окружающей среде, в том числе и в почве, очень значительное. Соотношение между содержанием радионуклидов в продуктах питания и в почве получило название *коэффициента перехода радионуклидов из почвы в продукты питания* (приложение А, таблица А.1).

В результате одни продукты (хлебобулочные изделия и мясо) имеют несколько большую радиоактивность, чем другие (молоко, сметана, масло, кефир, овощи и фрукты).

Таким образом, на поступление радиоактивных элементов в организм человека влияет выбор продуктов, которыми он питается.

Радиоактивные вещества проникают также и в водоемы из атмосферы или за счет смыва с почвы. Попадая в реки, озера, моря и океаны, радиоактивные вещества поглощаются водными растениями, животными, а также человеком как непосредственно из воды, так и по пищевой цепочке: вода – водоросли – рыба – человек. Радиоактивные вещества переходят в зоопланктон, для которого водоросли служат пищей, а затем – в организм моллюсков, ракообразных и рыб. В результате загрязняется вода, загрязняется или гибнет рыба и другие обитатели водоемов. Организмы, которые накапливают те или иные радиоактивные вещества в особенно высоких концентрациях, называют *биоиндикаторами радиоактивного загрязнения*. Так, водоросль кладофора особенно интенсивно накапливает йод-91, а моллюск большой прудовик – стронций-90.

Для того, чтобы максимально ограничить поступление радионуклидов в организм человека с продуктами питания, в Беларуси введены республиканские допустимые уровни (РДУ). В настоящее время действуют республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой

воде (приложение А, таблица А.2).

Для продуктов питания, потребление которых составляет менее 10 кг в год на человека, устанавливаются допустимые уровни в 10 раз более высокие, чем величины для прочих пищевых продуктов (таблица А.2 приложения А). В Брестской, Гомельской, Могилевской, Минской и Гродненской областях выявлено 216 населенных пунктов, где пищевые продукты из личных подсобных хозяйств, превышают требования РДУ-99 по содержанию цезия-137.

Стронций – щелочноземельный элемент второй аналитической группы периодической системы элементов Д. И. Менделеева. Он имеет более 10 радиоактивных изотопов (от стронция-81 до стронция-97), наиболее важными из которых являются стронций-89 (период полураспада составляет 51 сутки, максимальная энергия β -излучения – 1,46 МэВ) и стронций-90 (период полураспада составляет 28 лет, максимальная энергия β -излучения – 0,54 МэВ). Образуются они при делении урана в реакторах, а также при взрывах атомных бомб как продукты ядерного деления.

Стронций-90 претерпевает β -распад и превращается в дочерний радиоактивный элемент иттрий-90, который находится с ним в равновесном состоянии по радиоактивности. Период полураспада иттрия-90 составляет 64,2 ч, максимальная энергия β -частиц – 2,18 МэВ.

Йод. Известны 24 радиоактивных изотопа йода с массовыми числами в интервалах 117–126 и 128–139. Все они искусственные, являются продуктами ядерных реакций и образуются при делении тяжелых ядер (урана, плутония). Наиболее важными считаются: йод-125 (период полураспада составляет 60 суток, максимальная энергия β -излучения – 0,61 МэВ), йод-129 (период полураспада – $1,7 \cdot 10^7$ лет, максимальная энергия β -излучения – 0,12 МэВ), йод-131 (период полураспада – 8,06 суток, максимальная энергия β -излучения – 0,25–0,81 МэВ), йод-133 (период полураспада – 21 ч, максимальная энергия β -излучения – 0,4–1,2 МэВ).

В «свежих» выпадениях радиоактивных осадков после проведенных атомных испытаний или в результате аварий на атомных предприятиях вначале биологически опасны йод-131 – йод-133 и йод-135, по истечении 7 дней – йод-131 и йод-132, через две недели – только йод-131.

Радиоактивный йод-131 является химически активным элементом, обладает высокой летучестью, имеет большую способность миграции по звеньям биологической цепи и высокий коэффициент концентрации. Он включается в компоненты биосферы (почва – вода – флора – фауна) и участвует в биологическом цикле обмена веществ. Хорошо

растворимые в воде соединения йода усваиваются растениями и животными. В растениях йод-131 прочно задерживается и практически не удаляется с их поверхности при промывании водой. Корневое усвоение йода-131 при произрастании растений на гумусной почве превосходит усвоение стронция-90 в 14 раз, а на песчаной почве – в 2 раза.

Для измерения активной удельности радионуклидов применяется прибор РКС-107 (устройство, технические характеристики, а также принцип работы подробно описаны в лабораторной работе 1).

Задание 1. Измерение удельной активности радионуклида цезия-137 в водных растворах

Задание выполните в следующей последовательности:

1. Снимите заднюю крышку-фильтр прибора РКС-107.
2. Заполните измерительную кювету (половину упаковки прибора) заведомо чистой в радиационном отношении водой до метки – буртика внутри кюветы; установите прибор на кювету, как это показано на рисунке 8.

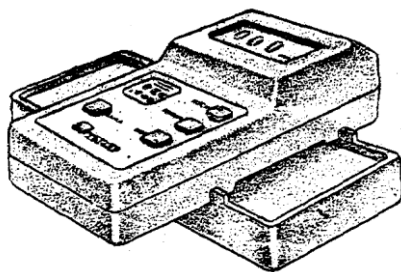


Рисунок 8 – Правильное установление прибора на кювету

3. Включите прибор кнопкой *Вкл.* Нажимая дважды кнопку *Режим*, установите указатель режима работы прибора в положение «Бк/г · 10» (рисунок 9).



Рисунок 9 – Установление прибора в положение «Бк/г · 10»

4. Нажмите кнопку *Пуск*. После звукового сигнала окончания цикла измерения (через $240 \pm 6,0$ с) снимите отсчет фонового показания прибора. На примере, показанном на рисунке 10, он равен $0,51 \text{ Бк/г} \cdot 10$. Запишите показания прибора.

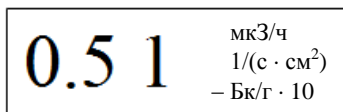


Рисунок 10 – Результат измерения

Повторите измерения не менее пяти раз, найдите среднее арифметическое значение показаний, умножьте результат на 10. Получив результат измерения фоновых показаний (A_ϕ) в беккерелях на грамм, запишите его в таблице 3. Выключите прибор и снимите его с кюветы.

5. Вылейте воду из кюветы, просушите ее и заполните исследуемым водным раствором до той же метки.

6. Вновь установите прибор на кювету, включите прибор кнопкой *Вкл*. Нажимая дважды кнопку *Режим*, установите указатель режима работы прибора в положение «Бк/г · 10». Нажмите кнопку *Пуск*. После звукового сигнала окончания цикла измерения и нажатия кнопки (через $240 \pm 6,0$ с) снимите отсчет показания удельной (объемной) активности прибора. Например, он равен $0,94 \text{ Бк/г} \cdot 10$ (рисунок 11). Запишите результат.

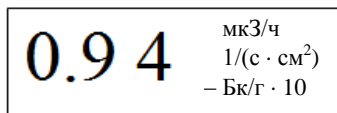


Рисунок 11 – Следующее показание прибора

При малых значениях удельной активности радионуклида цезия-137 рекомендуется снимать не менее пяти отсчетов показаний, находить их среднее арифметическое и умножать его на 10.

7. По нижеследующей формуле рассчитайте величину удельной активности радионуклида цезия-137 в водном растворе (A_u) в беккерелях на грамм:

$$A_u = (A_u + A_\phi) - A_\phi. \quad (4)$$

В данном случае измеренное значение активности будет следующим:

$$A_u = (9,4 - 5,1) \cdot 1\,000 = 4\,300 \text{ Бк/кг.}$$

8. Снимите прибор с кюветы, выключите и установите крышку-фильтр на прежнее место.

9. Вылейте анализируемый водный раствор, просушите кювету; при необходимости произведите дезактивацию кюветы с применением синтетических моющих средств. Результаты измерений представьте в виде таблицы 3.

Таблица 3 – Результаты измерений удельной активности радионуклида цезия-137 в исследуемом образце, Бк/г · 10

Номер показания	Исследуемый образец	Фоновое показание (A_{ϕ})	Активность исследуемого образца ($A_u + A_{\phi}$)	Удельная активность ($(A_u + A_{\phi}) - A_{\phi}$)
1.				
2. и т. д.				
Среднее значение				

Задание 2. Измерение плотности потока β -излучения с поверхности, загрязненной радионуклидами стронция-90 и иттрия-90

Порядок выполнения данного задания аналогичен порядку выполнения задания 2 из лабораторной работы 1.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется пищевой цепочкой радионуклида? Какие пищевые цепочки Вы знаете?

2. Все ли растения одинаково накапливают радионуклиды?

3. Что называется коэффициентом перехода радионуклидов из почвы в продукты питания? У каких продуктов он высокий, у каких – низкий?

4. Какую цель преследует введение РДУ-99?

5. От чего зависит величина накопления радионуклидов в организме человека?

6. Для чего предназначен прибор РКС-107? Как применяется прибор на практике?

7. Каковы устройство и принцип работы прибора РКС-107?

Лабораторная работа 3 **ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ** **ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

Цель работы: ознакомиться с основным применением радиационного облучения продуктов в пищевой промышленности; изучить устройство и принцип работы радиометра КРВП-3АБ; определить радиоактивность продуктов питания.

Материальное обеспечение

1. Радиометр КРВП-3АБ.
2. Натуральные образцы: сушеные грибы, зерно, фасоль.
3. Весы.

Теоретические сведения

Радиацию можно использовать для продления сроков хранения рыбы и мяса в холодильнике. Консервация фруктов и овощей также является привлекательной возможностью для применения радиации. Высокая кислотность фруктов достаточна, чтобы предупредить бактериальное разложение. Радиацией можно достигнуть торможения процесса порчи продукта, обусловленного заражением плесневыми и дрожжевыми грибами, для чего требуется относительно умеренная доза облучения, которая не изменяет аромата фруктов или их внешнего вида. В Нидерландах – передовой стране в области практического применения радиационной стерилизации продуктов питания – с успехом обрабатывают грибы и землянику. В Южной Африке плоды манго и папайи, поступающие в больших количествах на приемные пункты, облучают, а затем переправляют морским путем в Европу. Так, благодаря радиационной стерилизации в один прекрасный день какой-нибудь житель северных промышленных районов мира будет наслаждаться экзотическими фруктами из тропической Африки.

Насекомые и паразиты погибают при сравнительно низких дозах облучения, но в отличие от химической стерилизации облучение, к сожалению, не оказывает влияния на процесс повторного заражения паразитами. Поэтому этот метод не применяют для обработки зерна при хранении его в крупной таре, но он коммерчески привлекателен,

например, для обработки такого продукта, как расфасованные сушеные финики.

Радиоактивное облучение продуктов преследует две главные цели:

1. Увеличение срока хранения продуктов до и после их приобретения покупателем (например, облученная клубника не портится в холодильнике в течение 3 недель, а необработанные ягоды хранятся лишь 3–4 дня).

2. Подавление пищевых бактерий, вирусов и паразитов, таких как *Salmonella*, *E. coli*, *Campylobacter*, *Calicivirus*, *Clostridium botulinum* и *Staphylococcus aureus*. Доза ионизирующего излучения, абсорбированного продуктом питания, измеряется в единицах, которые называются килогрей (кГр).

Малые дозы (менее 1 кГр) предотвращают прорастание картофеля, задерживают созревание некоторых фруктов и овощей, препятствуют размножению насекомых во фруктах и крупах и паразитов в продуктах животного происхождения.

Средние дозы (от 1 до 10 кГр) уничтожают патогенные микробы, вызывающие пищевые отравления, и удлиняют срок хранения продуктов в холодильнике.

Высокие дозы (более 10 кГр) используются лишь в отношении сухих пряностей, которые разрешено облучать до достижения дозы 30 кГр.

Облучение продуктов питания разрешено в 41 стране, а перечни разрешенных продуктов включают до 30 пунктов.

Радиационная стерилизация дороже, но безвреднее, чем альтернативная стерилизация газообразной окисью этилена.

В настоящее время управление по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных препаратов Food and Drug Administration (FDA) требует, чтобы облученные продукты помечались надписью: «Обработано радиацией». На упаковке должен присутствовать также международный символ радиации. Продукты, обозначенные как «органические», облучению не подлежат.

Устройство, технические характеристики прибора КРВП-3АБ

Радиометр КРВП-3АБ состоит из двух блоков.

Пересчетный блок (блок №1) включает в себя следующие каскады: дискриминатор, усилитель, формирующее устройство, пересчетную декаду, узел проверки и секундомер. Он выполняет следующие функции: регистрацию количества импульсов на декатронах, расположенных на лицевой панели блока в его верхней части и регистрацию вре-

мени по двухшкальному секундомеру, расположенному в центре лицевой панели.

На лицевой панели расположены клавиши управления блоком:

- выключатель питающей сети (положение *Выкл.* – питающая сеть отключена, положение *Сеть* – питающая сеть включена);
- тумблер рода работ *Проверка*, *Работа*;
- положение *Проверка* – проверка исправности радиометра;
- положение *Работа* – работа с блоком детектирования;
- часы с кнопкой *Пуск* и ручкой *Завод*;
- панель с декартронными для подсчета количества зарегистрированных импульсов («10 000; 1 000; 100; 10; 1»).

Номерная шкала декартронов дает возможность отсчитывать количество импульсов при остановке счета.

Управление секундомером осуществляется двумя кнопками: левая кнопка – завод секундомера и установление текущего времени, правая – запуск секундомера и остановка пересчетного прибора. При работе с часами *не допускается* прилагать большие усилия при нажатии кнопки *Пуск*.

В левой нижней части лицевой панели находится переключатель режима работы радиометра. Пересчетный блок при помощи кабеля соединяется с одним из детекторных блоков и с сетью переменного тока.

Блок детектирования β -излучения (блок № 2) предназначен для измерения β -активности воды и пищевых продуктов. Его основой является десятианодный торцовый газоразрядный низковольтный галогенный счетчик повышенной надежности. Для снижения влияния внешнего γ -фона счетчик помещен в свинцовый разборный домик (масса – 80 кг, толщина стенок – 30 мм).

Чувствительность радиометра при работе с блоком № 2 прямым методом составляет от $5 \cdot 10^{-9}$ до $5 \cdot 10^{-6}$ Ки/кг (Ки/л).

Радиометр рассчитан на работу при β -излучениях в условиях мощности экспозиционной дозы внешнего γ -излучения не более 72 МкР/ч.

Время установления рабочего режима радиометра не менее 5 мин. Радиометр рассчитан на длительную непрерывную работу. Нестабильность работы в течение 24 ч не превышает $\pm 5\%$.

Пределы допускаемых значений основной погрешности радиометра не должны превышать $\pm 20\%$ относительно измеряемого значения при определении внешнего излучения источника β -излучения с радонуклидами стронция-90 и иттрия-90.

Радиометр рассчитан для работы при температуре окружающей среды для блока детектирования от -10 до $+50$ °С, для блока обработки от $+5$ до $+40$ °С при относительной влажности окружающего воз-

духа до 98%.

Задание 1. Измерение активности пробы пищевого продукта

Задание выполните в следующей последовательности:

1. Подготовьте радиометр КРВП-3АБ к работе и проверьте его работоспособность.

Открутите защитную крышку рукоятки завода часов, заведите часы, вращая рукоятку *Завод* против часовой стрелки. Если секундная стрелка не движется, запустите часы легким поворотом рукоятки *Пуск* против часовой стрелки. В случае, когда стрелка секундомера не стоит в положении «0», нажмите кнопку *Пуск* и установите стрелку секундомера в нулевое положение. Затем включите радиометр тумблером *Сеть* и выдержите его в включенном состоянии 3–5 мин для установления рабочего режима.

Проверка работоспособности радиометра осуществляется следующим образом:

- Перевести тумблер в положение *Проверка*.
- Легким нажатием кнопки *Пуск* запустить счетчик.
- Через 10 секунд повторным нажатием кнопки *Пуск* остановить счет импульсов (радиометр исправен, если количество зарегистрированных декартонами импульсов равно $1\,000 \pm 30$).

- Нажатием кнопки *Пуск* установить декартоны в нулевое положение.

2. Переведите тумблер радиометра в положение *Работа*. Откройте переднюю стенку свинцового домика. Внутри домика на его верхней стенке находится блок детектирования β -излучения. Непосредственно под блоком детектирования находятся специальные пазы, в которые устанавливается (вдвигается) пластмассовая кювета с пробой. Измерение фона производится с пустой кюветой или без нее.

Легким нажатием кнопки *Пуск* включите счетчик импульсов и секундомер. Допускается пользоваться секундомером наручных часов. Время измерения фона равно 10 мин. Повторным нажатием кнопки *Пуск* остановите счетчик импульсов и секундомер. На декартонах высвечивается количество зарегистрированных импульсов фона.

3. Определите скорость счета импульсов фона (N_ϕ) по формуле

$$N_\phi = \frac{K_\phi}{t_\phi}, \quad (5)$$

где K_ϕ – количество зарегистрированных импульсов фона;

t_ϕ – время измерения фона, с.

4. Нажатием кнопки *Пуск* установите декатроны в нулевое положение. Результаты оформите в виде таблицы 4.

Таблица 4 – Ориентировочное время измерения β -активных проб

Объемная активность, Ки/л	Продолжительность измерения, мин	Относительная ошибка, %
$5 \cdot 10^{-9}$	30	50
$5 \cdot 10^{-8}$	15	30
$5 \cdot 10^{-7}$	3	3
$5 \cdot 10^{-6}$	1	1

5. Для ориентировочного выбора необходимого времени измерения проб с различной удельной активностью можно воспользоваться данными таблицы 4, помня о том, что чем ниже предполагаемая активность пробы, тем больше должно быть время измерения.

Установите кювету с пробой внутрь свинцового домика под блок детектирования. Легким нажатием кнопки *Пуск* включите счетчик импульсов и секундомер. Время измерения активности пробы равно 10 мин. Повторным нажатием кнопки *Пуск* остановите счетчик импульсов и секундомер. На декатронах высвечивается количество импульсов пробы.

6. Определите скорость счета импульсов пробы (N_{np}) по формуле

$$N_{np} = \frac{K_{np}}{t_{np}}, \quad (6)$$

где K_{np} – количество зарегистрированных импульсов пробы;
 t_{np} – время измерения пробы, с.

7. Расчет удельной активности пробы (N) выполните по формуле

$$N = \frac{N_{np} - N_{\phi}}{P}, \quad (7)$$

где P – значение чувствительности радиометра (таблица 5).

Таблица 5 – Чувствительность радиометра

Пробы продуктов и питьевой воды	Чувствительность прибора, кг (л) \cdot с $^{-1}$, Бк $^{-1}$ (кг (л) \cdot с $^{-1}$, Ки $^{-1}$)
Мясо и мясные продукты, молоко и молочные продукты; рыба, птица; мука, хлеб; яйца, яич-	$3,2 \cdot 10^{-4}$ ($1,2 \cdot 10^7$)

ный порошок; корнеплоды, бобовые, соки	
--	--

Окончание таблицы 5

Пробы продуктов и питьевой воды	Чувствительность прибора, кг (л) · с ⁻¹ , Бк ⁻¹ (кг (л) · с ⁻¹ , Ки ⁻¹)
Фрукты, ягоды, овощи, пищевая зелень, крупяные продукты, сухие лекарственные травы, грибы, чай, зерно, мед	$5,2 \cdot 10^{-4}$ ($1,9 \cdot 10^7$)
Вода питьевая	$3,2 \cdot 10^{-4}$ ($1,2 \cdot 10^7$)

8. Для определения суммарной β -активности продуктов питания необходимо учитывать влияние калия-40 на показания радиометра, скорректировав формулу на калиевый фон следующим образом:

$$q = \frac{N_{np} - N_{\phi} - N_K}{P}, \quad (8)$$

где q – удельная активность пробы, Бк/кг (Ки/кг);

N_{np} – скорость счета импульсов продукта, импульсов в секунду;

N_{ϕ} – скорость счета импульсов фона, импульсов в секунду;

N_K – скорость счета, обусловленная содержанием калия-40 в пробе (значения представлены в приложении Б);

P – значение чувствительности радиометра (таблица 5).

9. Измеренные и вычисленные данные представьте в виде в таблицы 6. Сравните вычисленную фактическую удельную активность пробы пищевого продукта с РДУ-99 (приложение А, таблица А.2). Сделайте вывод о пригодности пробы пищевого продукта.

Таблица 6 – Результаты измерений

Показания прибора	Исследуемое вещество	Значение фона (N_{ϕ}), импульсов в секунду	Значение пробы (N_{np}), импульсов в секунду	Удельная активность (q), Бк/кг (Ки/кг)
1. ...				
2. ... и т. д.				
Среднее значение				

10. После выполнения работы закрутите защитные крышки рукояток часов, выньте кювету из свинцового домика, выключите радиометр тумблером *Сеть*, выньте вилку из розетки.

Вопросы для самоконтроля

1. Для каких целей используется радиационное облучение пищевых продуктов?
2. Какие продукты могут подвергаться облучению?
3. Каковы основные недостатки от использования радиационного облучения пищевых продуктов?
4. Какие дозы облучения используются для обработки продуктов питания?
5. Каково устройство и принцип работы КРВП-ЗАБ?
6. Как осуществляется проверка работоспособности прибора КРВП-ЗАБ?

Лабораторная работа 4 РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

Цель работы: установить уровень внешнего и внутреннего облучения, а также роль различных факторов и процессов, влияющих на величину дозы облучения; научиться использовать существующие бытовые приборы для радиационного контроля и оценки обстановки на производстве.

Материальное обеспечение

Радиометр-дозиметр РКСБ-104 «Радиян».

Теоретические сведения

Радиационная гигиена – это раздел гигиены, изучающий источники, уровни и последствия воздействия ионизирующих излучений на человека с целью разработки и обоснования нормативов, мер профилактики и защиты от повреждающего воздействия этих излучений. Существует несколько направлений исследования в радиационной гигиене: дозиметрическое, радиобиологическое, теоретическое и санитарно-законодательное. Задачей дозиметрии ионизирующих излучений является выявление источников и установление уровней внеш-

него и внутреннего облучения различных групп населения и персонала предприятий, работа на которых сопряжена с профессиональным облучением. Изучаются закономерности формирования внешнего и внутреннего облучения, а также роль различных факторов и процессов, влияющих на величину дозы, получаемой человеком, для разработки необходимых защитных мероприятий. В рамках радиобиологического направления изучается метаболизм радионуклидов, в частности, зависимость от особенностей пищевого и водного рациона. Содержанием теоретического направления радиационной гигиены является разработка методологии гигиенического нормирования воздействия ионизирующих излучений на человека. В отличие от других токсических факторов, для которых существует порог действия, а следовательно, дозы и концентрации (ниже пороговых) полностью безвредные для здоровья человека, в радиационной гигиене принято считать, что дополнительное облучение в любой дозе, сколь бы мала она ни была, сопряжено с риском возникновения отдаленных последствий.

Так как человек большую часть своей жизни проводит в закрытых помещениях, то помимо природного радиоактивного излучения он испытывает и нагрузки от техногенно измененной среды обитания и, в первую очередь, от строительных материалов, которые использованы при строительстве зданий. Например, при проживании в течение года в различных домах человек получает следующие дозы излучения от стен:

- в кирпичном доме – от 0,5 до 1 мЗв;
- в бетонном доме – от 0,7 до 1 мЗв;
- в деревянном доме – от 0,3 до 0,5 мЗв.

Помимо этого, человек за год получает также дозу природного излучения:

- от космических лучей – 0,45 мЗв;
- от почвы – 0,15 мЗв;
- от воды, пищи, воздуха – 0,25 мЗв;
- при медицинской диагностике (флюорография и др.) – 3,7 мЗв;
- при перелете самолетом на расстояние 2 400 км – 0,01 мЗв;
- при ежедневном трехчасовом просмотре телевизора в течение года – 5 мкЗв.

Рассматривая вышеприведенные данные и учитывая, что согласно нормам радиационной безопасности (НРБ-76/87) для работающих в контакте с радиоактивными излучениями установлена предельно допустимая доза за год 50 мЗв, можно утверждать, что перечисленные в примере нагрузки находятся в пределах естественного радиационного

фона. Среди зданий по этому показателю благоприятно выделяется деревянный дом.

Рост требований к экологически безопасному строительству связан не просто с созданием комфортной среды проживания в доме, но и с обеспечением полной безопасности жилища для здоровья человека. Установление класса материала по радиационной безопасности в настоящее время сводится только к определению эффективной удельной активности естественных радионуклидов.

Устройство, технические характеристики прибора РКСБ-104 «Радиян»

Прибор РКСБ-104 «Радиян» состоит из следующих основных элементов: устройство детектирования излучений, таймер, устройство управления, счетчик импульсов и др.

Устройство детектирования излучений состоит из двух газоразрядных счетчиков типа СБМ 20, включенных параллельно по импульсной схеме и корректирующих фильтров.

Таймер является устройством, формирующим интервалы времени измерений, а делитель частоты обеспечивает отношение между длиной двух интервалов измерения.

Устройство управления преобразует сигналы, поступившие в течение интервалов времени измерений от устройства детектирования, в импульсы стандартной амплитуды и длительности и передает их на счетчик импульсов (при заполнении счетчика определенным количеством импульсов управляет работой порогового устройства и схемы переполнения, при окончании измерения включает устройство звуковой и визуальной сигнализации).

Счетчик импульсов предназначен для подсчета импульсов за интервалы времени измерения и индикации результатов подсчета на табло жидкокристаллического индикатора.

Устройство пороговое предназначено для выдачи сигнала управления устройством звуковой сигнализации в случае превышения числа импульсов, заполняющих счетчик, установленного для его порогового значения, а также для обеспечения возможности установки любого одного из тридцати одного предусмотренного схемой порога срабатывания сигнализации.

Устройство звуковой сигнализации включает прерывистый или непрерывный звуковой сигнал (в зависимости от режима работы прибора) пьезоэлектрического звонка.

Преобразователь напряжения служит для получения рабочих напряжений питания элементов электрической принципиальной схе-

мы.

Обозначения измеряемых величин заключены в разноцветные прямоугольные поля. Этими же маркировочными цветами отмечена вся служебная информация, имеющаяся на лицевой панели прибора и относящаяся к конкретной измеряемой величине (единицы измерения, пересчетные коэффициенты). Общий вид прибора представлен на рисунке 12.

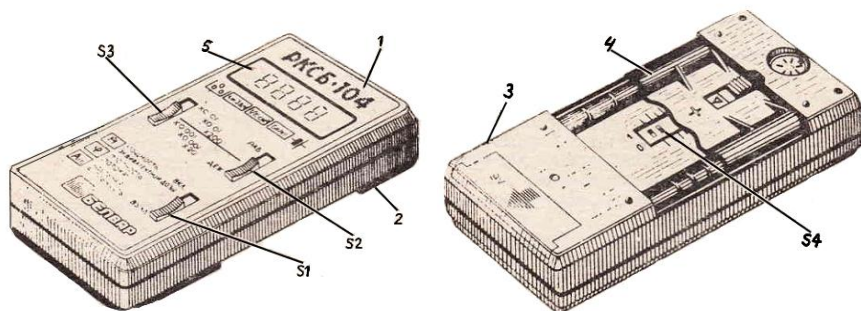


Рисунок 12 – Общий вид прибора РКСБ-104 «Радиян»

На лицевой панели (1), под табло жидкокристаллического индикатора в прямоугольных полях того же цвета, что и обозначения измеряемых величин (H , φ , A_m), указаны принятые обозначения единиц их измерения (мкЗв/ч , $1/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$, Бк/кг). Обозначения единиц измерения помещены под четырьмя разрядами индикатора, на которых появляется измерительная информация (четырёхразрядные числа).

Под первым, старшим разрядом индикатора нанесен знак переполнения индикатора « $\odot \odot$ », на табло при этом переполнении появляется символ « \div », под последним, младшим разрядом индикатора нанесен знак « ∇ ». При разряде батареи питания до напряжения 6,0 В на этом разряде индикатора появляется символ «V».

В средней и нижней частях лицевой панели прибора нанесены указанные ниже обозначения положений тумблеров, являющихся органами управления прибора:

- $\times 0,01 \times 0,01 \times 200$ и $\times 0,001 \times 0,001 \times 20$ – у тумблера (S3), задающего поддиапазон (время) измерения;

- *Раб.* и *Деж.* – у тумблера (S2) выбора режима работы прибора;

- *Вкл.* и *Выкл.* – у тумблера (S1) включения-выключения прибора.

В правой нижней части лицевой панели прибора нанесен фирмен-

ный знак.

На крышке-фильтре (4) прибора нанесены знаки. Знак «+» указывает центр плоскости расположения счетчиков. От него рассчитываются расстояния до образцовых и контрольных источников при градуировке и поверке прибора. Под крышкой-фильтром нанесены обозначения движков кодового переключателя (S4) снизу вверх: S4.1 – 800; S4.2 – 400; S4.3 – 200; S4.4 – 100; S4.5 – БД; S4.6 – Т; S4.7 – Тф; S4.8 – Т_А, а также цифры «1» и «0», соответствующие положениям движков.

В качестве показания прибора (или отсчета показания – при необходимости снятия нескольких отсчетов) принимается цифровая величина, являющаяся значащей частью четырехразрядного числа, устанавливающегося на табло после окончания цикла измерения (в этот момент прибор выдает прерывистый звуковой сигнал и индицирует на табло индикатора символ «F»).

Например, на табло индицируется число 0009; показание прибора – 9; на табло индицируется число 0103; показание прибора – 103.

Задание 1. Измерение мощности полевой эквивалентной дозы γ -излучения

Задание выполните в следующей последовательности:

1. Снимите заднюю крышку-фильтр прибора РКСБ-104 «Радиан».
2. Переведите движки кодового переключателя в положения, как показано на рисунке 13.
3. Установите крышку-фильтр на прежнее место.

Переведите тумблеры (S2) и (S3) в верхние положения: *Раб.* и $\times 0,01 \times 0,01 \times 200$, соответственно.

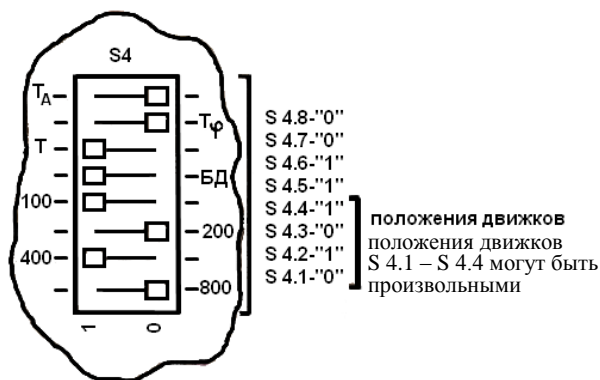


Рисунок 13 – Положения движков прибора при измерении мощности полевой эквивалентной дозы γ -излучения

4. Включите прибор тумблером (S1), переведя его в положение *Вкл.* Через 27–28 секунд прибор выдает прерывистый звуковой сигнал, а на табло жидкокристаллического индикатора индицируется символ «F» и отображается четырехразрядное число. Для определения мощности полевой эквивалентной дозы γ -излучения умножьте значащую часть этого числа на пересчетный коэффициент, равный 0,01, – и вы получите результат в микрозивертах в час (мкЗв/ч). Запишите показание прибора в таблицу 7.

Примечание – Значащая часть четырехразрядного числа соответствует измеренной величине мощности эквивалентной дозы γ -излучения в микрозивертах в час (мкЗв/ч).

5. Для получения более точного результата измерения (в пределах допускаемых значений основной погрешности измерений) при величинах мощности полевой эквивалентной дозы γ -излучения менее 10 мкЗв/ч повторите измерения при нижнем положении тумблера (S3) (положение остальных органов управления не изменяется). Время измерения при этом увеличится до 270–280 секунд. Показание прибора умножьте на пересчетный коэффициент, равный 0,001, – и вы получите результат измерения (мкЗв/ч).

В нижнем положении тумблера (S3) значащая часть четырехразрядного числа, индицируемого на табло в момент окончания цикла измерения, соответствует умноженной на 10 величине мощности эквивалентной дозы γ -излучения (мкЗв/ч).

Результаты измерений представьте в виде таблицы 7.

Таблица 7 – Результаты измерений мощности полевой эквивалентной

дозы γ -излучения, мкЗв/ч

Показания прибора	Исследуемое пространство	Мощность полевой эквивалентной дозы γ -излучения ($P_{экв}$)	Значение естественного радиационного γ -фона
1. ...			
2. ... и т. д.			
Среднее значение			

Задание 2. Измерение загрязненности поверхностей β -излучающими радионуклидами

Задание выполните в следующей последовательности:

1. Снимите крышку-фильтр прибора.
2. Переведите движки кодового переключателя (S4) в положения, как показано на рисунке 14.
3. Установите крышку-фильтр на прежнее место.
4. Переведите тумблеры (S2) и (S3) в верхние положения: *Раб.* и $\times 0,01 \times 0,01 \times 200$, соответственно.

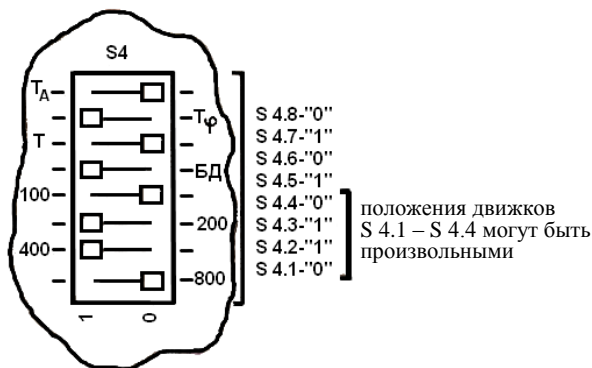


Рисунок 14 – Положения движков прибора при измерении загрязненности поверхностей β -излучающими радионуклидами

5. Поднесите прибор к исследуемой поверхности, поместив между ними пластмассовую упаковку или удалите прибор от этой поверхности на расстояние 110–120 см.
6. Включите прибор тумблером (S1), установив его в положение *Вкл.*
7. Снимите фоновое показание прибора (ϕ), которое установится

на табло через интервал времени, примерно равный 18 секундам после включения прибора. Запишите показание прибора в таблицу 8.

8. Выключите прибор, установив тумблер (S1) в положение *Выкл.*

9. Снимите заднюю крышку-фильтр и поместите прибор над исследуемой поверхностью на расстояние не более 1 см.

10. Включите прибор тумблером (S1). Запишите показание прибора (φ_u), установившееся во время действия прерывистого звукового сигнала.

11. Определите величину загрязненности поверхности β -излучающими радионуклидами, которая характеризуется величиной плотности потока β -излучения с поверхности, по формуле

$$\varphi = K_1(\varphi_u - \varphi_\phi), \quad (9)$$

где φ – плотность потока β -излучения с поверхности, $1/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$;

K_1 – коэффициент пересчета, равный 0,01;

φ_u – показание прибора со снятой крышкой, $1/(\text{см} \cdot \text{с}^2)$;

φ_ϕ – показание прибора, соответствующее внешнему радиационному фону γ -излучения, $1/(\text{см} \cdot \text{с}^2)$.

12. Для получения более точного результата измерения (в пределах допускаемых значений основной погрешности измерений) при величине плотности потока β -излучения с поверхности менее $10 \text{ } 1/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$, т. е. менее 600 β -частиц $1/(\text{мин} \cdot \text{см}^2)$, необходимо повторить измерения при нижнем положении тумблера S3 ($\times 0,001 \times 0,001 \times 20$).

Положения остальных движков прибора не изменяются. В этом случае разность показаний ($\varphi_u - \varphi_\phi$) следует умножить на коэффициент 0,001 – и вы получите результат измерения в частицах в секунду с квадратного сантиметра. Продолжительность цикла измерения равна 175–185 секунд.

Результаты измерений представьте в виде таблицы 8.

Таблица 8 – Результаты измерений плотности потока β -излучения, $1/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$

Показания прибора	Исследуемая поверхность	Показания прибора с установленной крышкой-фильтром (P_ϕ)	Показания прибора без крышки-фильтра (P_n)	Плотность потока β -излучения $((P_n + P_\phi) - P_\phi)$
1. ...				
2. ... и т. д.				
Среднее значение				

Вопросы для самоконтроля

1. Что изучает радиационная гигиена?
2. Каковы основные задачи радиационной гигиены?
3. Какие дозы за год получает человек, находящийся в различных жилых помещениях?
4. Какие дозы за год получает человек от природных источников радиоактивного излучения?
5. Каковы назначение и устройство прибора РКСБ-104 «Радиян»?
6. Как измеряется мощность полевой эквивалентной дозы γ -излучения?
7. Как измеряется плотность потока β -излучения?

Лабораторная работа 5 **МЕТОДИКА ОТБОРА ПРОБ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ** **ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ** **В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ**

Цель работы: изучить методику отбора проб; приобрести практические навыки проведения измерений по определению содержания радионуклидов в пищевых продуктах и при их производстве.

Материальное обеспечение

1. Инструкция по методике отбора проб пищевых продуктов для определения содержания радионуклидов в пищевых продуктах.
2. Радиометр-дозиметр РКС-107.

Теоретические сведения

Методическая инструкция распространяется на партии пищевых продуктов и продовольственного сырья, а также на партии продукции растениеводства и животноводства и предназначена для определения однородности партии продукции по γ -излучающим радионуклидам при проведении радиационного контроля на предприятиях Гомсельхозпрода.

Студенту необходимо знать следующие понятия и определения:

Контроль – процедура оценивания соответствия путем наблюдения и суждений, сопровождаемых соответствующими измерениями,

испытаниями или калибровкой (СТБ ИСО 9000).

Контролируемая партия продукции – совокупность единиц продукции одного наименования, типоминнала или типоразмера и исполнения, произведенная в течение определенного интервала времени в одних и тех же условиях и одновременно представленная для контроля.

Обеспечение качества – совокупность планируемых и систематически выполняемых действий, требуемых для создания надлежащей уверенности в том, что продукция или процесс будет удовлетворять установленным требованиям к качеству.

Отбор проб – отбор из партий нештучной продукции, где выборочные единицы изначально трудноразличимы.

Задание 1. Отбор и подготовка проб исследуемого материала к измерениям

Для системного анализа исследований на протяжении нескольких месяцев или ряда лет заведите журнал, в котором следует записывать дату, вид измеряемой продукции, тип прибора (он через год-два может поменяться), место отбора проб (например, в каком лесу и когда собраны грибы, ягоды и т. д.) и результаты измерений (расчетов).

Отбор проб растений производят, как правило, на тех же участках, что и пробы почв. Для получения объединенной пробы растений массой 0,5–1 кг натуральной влажности рекомендуется отбирать не менее 8–10 точечных проб. Надземную часть травяного покрова срезают острым ножом или ножницами (не засоряя почвой), укладывают в полиэтиленовый мешочек, вкладывают этикетку из картона или плотной бумаги, на которой отмечают название растения, фазу вегетации, место отбора, вид отбираемой продукции и дату.

Нижняя часть растений часто загрязнена почвой. В этом случае нужно либо срезать растения выше, либо тщательно промыть их дистиллированной водой. С посевов сельскохозяйственных культур следует брать пробы по диагонали поля или ломанной кривой. Объединенную пробу составляют из 8–10 точечных проб, взятых либо из наземной части растений, либо отдельно – стеблей и листьев, плодов, зерна, корнеплодов, клубнеплодов.

Отбор проб зерна производят по всей глубине насыпи зерна или мешка. Ручным щупом точечные пробы отбирают из верхнего и нижнего слоев, касаясь щупом дна. Общая масса точечных проб при от-

боре должна быть не менее 1 кг. Зерно перемешивают.

Пробы клубнеплодов и корнеплодов отбирают из буртов, насыпей, куч, автомашин, прицепов, вагонов, барж, хранилищ и непосредственно из земли. Пробы отбирают от однородной партии любого количества, одного сорто-типа, заготовленного с одного поля, хранящегося в одинаковых условиях.

Точечные пробы отбирают по диагонали боковой поверхности бурта, насыпи, куч через равные расстояния на глубине 20–30 см. Клубни и корнеплоды берут в трех точках подряд.

Среднюю пробу для анализа выделяют из объединенной, масса ее должна быть равна 1 кг.

Отбор проб травы и зеленой массы. С пастбищ или сенокосных угодий пробы отбирают непосредственно перед выпасом животных или скашиванием на корм, для чего на выбранном для отбора проб участке выделяют 8–10 учетных площадок размером 1 или 2 м², размещающая их по диагонали участка. Травостой скашивают (срезают) на высоте 3–5 см. Полученную со всех точечных проб или учетных площадок зеленую массу собирают на полог, тщательно перемешивают и расстилают ровным слоем, получая таким образом объединенную пробу, из которой отбирают среднюю пробу для анализа. Для составления средней пробы, масса которой должна быть 1 кг, траву берут порциями по 100 г из 10 различных мест.

Пробы грубых кормов, хранящихся в скирдах, стогах, отбирают по периметру скирд и стогов на равных расстояниях друг от друга на высоте 1–1,5 м от поверхности земли со всех доступных сторон с глубины не менее 0,5 м.

Отбор проб продуктов (круп, бобовых, семян и т. п.) аналогичен методам отбора проб зерна. Масса объединенной пробы крупы не должна быть менее $1,5 \pm 0,1$ кг.

Яблоки, помидоры, баклажаны и другие овощи и фрукты отбирают по методу отбора корнеплодов и т. п. Из небольших партий продуктов (ягоды, зелень и др.) точечные пробы берут в четырех-пяти местах. Объединенная проба по весу или объему не должна превышать трехкратного количества, необходимого для измерения на соответствующем приборе.

Отбор молока и молочных продуктов производят из небольших емкостей (бидон, фляга и др.) после перемешивания, а из крупных (цистерна, чан) – с разной глубины емкости кружкой с удлиненной ручкой или специальным пробоотборником. Величина средней пробы

составляет 0,2–1 л и зависит от величины всей партии продукции.

Отбор проб мяса, органов сельскохозяйственных животных и птицы выполняют на убойных пунктах колхозов, совхозов, мясокомбинатах, рынках, в личных хозяйствах, а также магазинах.

Пробы мяса (без жира) от туш или полутуш отбирают кусками по 30–50 г в области четвертого-пятого шейных позвонков, лопатки, бедра и толстых частей спинных мышц. Общая масса пробы должна составлять 0,2–0,3 кг. Для специального лабораторного исследования отбирают также кости в количестве 0,3–0,5 кг (позвоночник и второе-третье ребро). Пробы внутренних органов животных отбирают следующим образом: печень, почки, селезенка, легкие массой 0,1–0,2 кг, щитовидная железа – весь орган. Птицу (цыплят) берут целыми тушками; кур, индеек, уток, гусей – до 1/4 тушки. Количество проб определяется объемом и характером исследований.

Отбор проб рыбы производят на рыбокомбинатах, хладокомбинатах, рынках, в магазинах, а также при отлове (непосредственно в водоемах). Мелкие экземпляры рыб берут целыми тушками, у крупных – только среднюю часть. Исследованию подлежат все виды рыбы. Масса средней пробы составляет 0,3–0,5 кг. Количество проб определяется объемом и характером исследований.

Пробы яиц отбирают на птицефабриках, птицефермах совхозов, колхозов, на рынке, в магазинах и личных хозяйствах. Величина пробы составляет 2–3 яйца.

Отбор проб натурального меда производят на пасеках, в магазинах, на рынках, складах и базах хозяйств и потребительской кооперации.

Забор меда производят трубчатым алюминиевым пробоотборником (если мед жидкий) или щупом для масла (если мед плотный) из разных слоев продукции. Закристаллизованный мед отбирают коническим щупом, погружая его в мед под наклоном. При исследовании сотового меда из одной соторамки вырезают часть сот площадью 25 см². Если сотовый мед кусковой, пробу берут в тех же объемах от каждой упаковки. После удаления восковых крышечек образцы меда помещают на сетчатый фильтр с диаметром ячеек не более 1 мм, вложенный в стакан, и ставят в духовку газовой плиты при температуре 40–45 °С. Масса средней пробы равна 0,2–0,3 кг.

Отбор проб соков, сиропов, варенья, воды, компотов производят из перемешанной, однородной массы. Масса пробы равна 100–200 г.

Пробы готовых мясных продуктов и колбасных изделий отбирают при их передаче в торговую сеть, непосредственно в магазинах или в

местах хранения. Масса проб готовых мясных продуктов, полуфабрикатов и колбасных изделий составляет 200–300 г.

Отобранные пробы в необходимых случаях очищают, отмывают и измельчают. Пробы пищевых продуктов обрабатывают так, как на первом этапе приготовления пищи. Корнеплоды, клубнеплоды и картофель промывают проточной водой. С капусты удаляют некачественные листья. Пищевую зелень, ягоды и фрукты также промывают проточной водой. Мясо и рыбу моют, с рыбы удаляют чешую и внутренности. С колбасных изделий снимают оболочку, с сыра – слой парафина. Подготовленные продукты измельчают при помощи мясорубки, терки, кофемолки и т. д. Пищевую зелень измельчают ножом в эмалированной кювете.

Необходимо соблюдать следующие *общие требования* при отборе и подготовке проб исследуемого материала к изменению:

1. Контролируемая партия пищевых продуктов и продовольственного сырья, продукции растениеводства и животноводства, представляемая для радиационного контроля, должна быть однородной по γ -излучающим радионуклидам.

2. Партия продукции считается однородной по содержанию в ней γ -излучающих радионуклидов, если в разных точках контроля результаты измерений мощности дозы γ -излучения различаются не более чем на 50% от среднего значения измеренных величин.

3. Проверку однородности для партии пищевых продуктов и продовольственного сырья, продукции растениеводства и животноводства (далее – однородность партии) при проведении радиационного контроля выполняют для того, чтобы заключение было сделано о той партии, из которой затем производился отбор проб на соответствие действующим нормативным документам.

4. Однородность партии является необходимым условием обеспечения качества отбора проб, наиболее полно и достоверно характеризующая радиоактивное загрязнение контролируемой партии.

5. Проверку однородности партии выполняют специалисты, имеющие необходимую подготовку в области радиационного контроля.

Задание 2. Измерение содержания радионуклидов в пищевых продуктах

Устройство, технические характеристики, принцип работы прибо-

ра РКС-107 подробно были описаны ранее. Измерьте содержание радионуклидов в пищевых продуктах, используя порядок выполнения, изложенный в лабораторной работе 1.

Вопросы для самоконтроля

1. Как осуществляется отбор проб растений?
2. Как проводится отбор проб корнеплодов?
3. Что называется активностью?
4. Для чего предназначен прибор РКС-107? Как применяется прибор на практике?
5. Каков порядок измерения полевой эквивалентной дозы γ -излучения?

Лабораторная работа 6 МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ И КОНТРОЛЯ ЗА СОДЕРЖАНИЕМ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОДУКТАХ ПИТАНИЯ

Цель работы: приобрести навыки определения удельной и объемной активности радионуклидов радиометром.

Материальное обеспечение

1. Радиометр РКГ-01 «Алиот».
2. Натуральные образцы: сушеные грибы, зерно.
3. Весы.

Теоретические сведения

Радиоактивные излучения не воспринимаются органами чувств. Они могут быть обнаружены (детектированы) при помощи приборов и приспособлений, работа которых основана на физико-химических эффектах, возникающих при взаимодействии излучения с веществом.

В результате взаимодействия радиоактивного излучения с внешней средой происходит ионизация и возбуждение ее нейтральных атомов и молекул. Такое воздействие вызывает изменения физико-химических свойств облучаемой среды. Указанными свойствами являются электропроводность веществ (газов, жидкостей, твердых ма-

териалов), люминесценция (свечение) некоторых веществ, засвечивание фотопленок, изменение цвета, окраски, прозрачности, сопротивление электрическому току химических растворов и др. Эти явления приняты за основу при разработке следующих методов регистрации и измерения ионизирующих излучений: фотографического, сцинтилляционного, химического и ионизационного.

Для каждого вида излучения в зависимости от его пробега в веществе подбирается соответствующий детектор, среди которых выделяют следующие:

1. *Индикаторы* – простейшие измерительно-сигнальные приборы, позволяющие обнаружить факт наличия излучения и ориентировочно оценить некоторые характеристики излучений. Детекторами в них чаще всего являются газоразрядные счетчики.

2. *Радиометры* – это приборы с газоразрядными, сцинтилляционными счетчиками и другими детекторами, предназначенные для различных целей:

- измерения активности радиоактивных препаратов и источников излучения;
- определения плотности потока или интенсивности ионизирующих частиц и квантов, поверхностей;
- измерения радиоактивности предметов;
- определения удельной активности аэрозолей, газов и жидкостей.

Для более точных измерений активности препаратов и потоков частиц применяют стационарные радиометры, которые осуществляют дискретный счет попавших в детектор частиц и квантов (дифференциальные измерения).

3. *Спектрометры* – приборы и установки, предназначенные для определения энергии частиц, энергетического спектра, типа радионуклида (α -спектрометры, γ -спектрометры, β -спектрометры и комбинированные приборы).

4. *Дозиметры (рентгенометры)* – приборы, измеряющие экспозиционную и поглощенную дозы излучения или соответствующие мощности доз. Дозиметры состоят из трех основных частей: детектора, радиотехнической схемы, усиливающей ионизационный ток, и регистрируемого (измерительного) устройства. По характеру применения дозиметры делятся на стационарные, переносные и приборы индивидуального дозиметрического контроля.

*Устройство и технические характеристики радиометра
РКГ-01 «Алиот»*

Радиометр «Алиот» предназначен для измерения удельной или объемной активности γ -излучающих радионуклидов в пробах пищевых продуктов.

Прибор характеризуется следующими техническими данными:

- диапазон регистрируемого фотонного ионизирующего излучения равен 0,5–3 МэВ с использованием блока детектирования на базе сцинтилляционного кристалла размером 40 × 40 мм;
- диапазон измерения удельной активности 18,5–37 000 ($5 \cdot 10^{-10}$ – 1×10^{-6}) Бк/кг (Ки/кг).

Основная относительная погрешность в этом диапазоне измерений составляет не более 35%.

В радиометре предусмотрены:

- выдача звукового сигнала при времени измерения 300 секунд;
- автоматическое прекращение измерения при достижении статистической погрешности 15% с выдачей звукового сигнала.

Устройство радиометра представлено на рисунке 15. Радиометр состоит из электронного блока, блока детектирования, помещенного в защитное устройство и соединенного с электронным блоком кабелем.

В сосуд Маринелли насыпают или наливают продукт объемом 1 л (линия уровня); 0,5; 0,1 л. Особенности конструкции радиационной защиты позволяют расположить сосуд Маринелли с исследуемой пробой определенным образом относительно блока детектирования. В основе работы блока детектирования лежит принцип преобразования энергетических потерь γ -квантов в чувствительном объеме сцинтилляционного детектора в электрические импульсы.

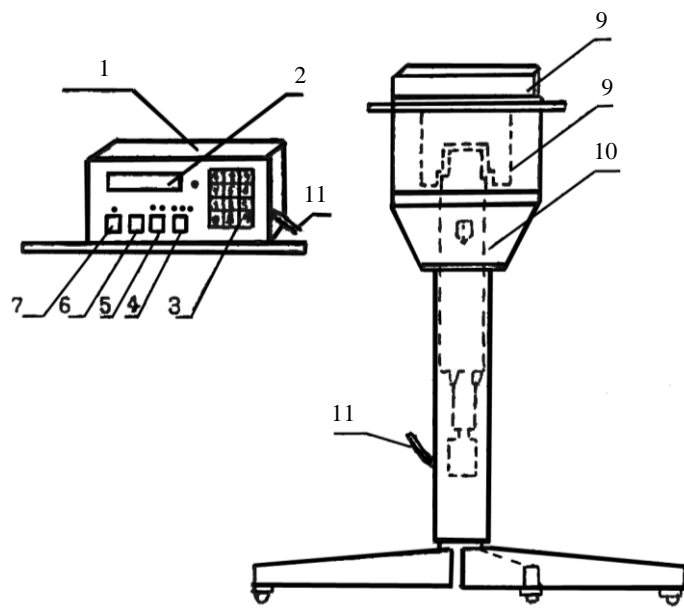
Радиометр имеет два канала. Один канал (определение цезия) настроен на энергию в диапазоне 0,15–0,9 МэВ, второй (определение калия) – на энергию в диапазоне 0,9–1,6 МэВ.

Назначение индикаторов и переключателей электронного блока (передняя панель) радиометра состоит в следующем:

- цифровой двенадцатиразрядный индикатор – для снятия показаний;
- кнопка *Пуск* – разрешение начала измерений;
- кнопка *Стоп* – прекращение текущего измерения;
- кнопка *Объем* – ввод в радиометр сведений о геометрии измеряемой пробы;
- кнопка *Един. изм.* – ввод в радиометр требования оператора о единицах измерения, в которых необходимо выдать информацию об удельной активности исследуемой пробы;

- 0...9 – наборное поле для ввода десятичных цифр от 0 до 9;
- кнопка *В* – ввод признака веса пробы в радиометр;
- кнопка *Ф* – вывод на индикацию активности пробы в калиевом канале;
- контрольный индикатор *Режим* – стабилизация режима работы прибора.

На задней панели имеются разъем для подключения сетевого кабеля (220 В, 50 Гц), сетевой предохранитель (1 А), кнопка *Общ. сброс* и тумблер *Вкл.*, который должен быть включен. Кнопка *Общ. сброс* позволяет вывести контролер электронного блока из состояния зависания и может быть использована для повторного измерения фона. Тумблер *Сеть* используется для включения и выключения радиометра.



Условные обозначения:

- 1 – блок электронный; 2 – цифровой индикатор; 3 – наборное поле;
 4 – ввод объема (1; 0,5; 0,1); 5 – ввод единиц измерений; 6 – кнопка *Стоп*;
 7 – кнопка *Пуск*; 8 – защита; 9 – сосуд Маринелли; 10 – блок детектирования;

Задание 1. Измерение удельной или объемной активности γ -излучающих радионуклидов в пробах пищевых продуктов

Задание выполните в следующей последовательности:

1. Включите радиометр тумблером *Сеть* на задней панели прибора. Выдержите радиометр во включенном состоянии 10 мин. Обратите внимание на контрольный индикатор *Режим* – он должен мигать.

2. Выберите тип кюветы. Для любых видов продукции (жидкости, сыпучие и твердые пробы) используется сосуд Маринелли, который заполняется до метки, соответствующей 1 л. Если объем пробы ограничен, то в мерный сосуд (0,5 л) помещают исследуемую пробу, а затем ее переливают (пересыпают) в сосуд Маринелли.

3. Измерьте фон γ -излучения.

Измерение фона следует начинать после установления рабочего режима радиометра. При измерении активности проб с малой плотностью кювету необходимо оставить пустой.

Кювету поместите в защитный домик. Нажмите кнопку *Пуск*. По окончании измерения фона раздается звуковой сигнал и на табло появляются значения величин фона в цезиевом и калиевом окнах и статистическая погрешность определения скорости счета фона.

Измерение фона заканчивается либо по достижении заданной (записанной в памяти) точности, либо при нажатии кнопки *Стоп*. Эти значения запоминаются и учитываются при последующих измерениях с данным типом кюветы.

Измерения фона следует повторить в следующих случаях:

- перерыв в работе составил несколько часов;
- имеются сомнения в результате измерения;
- произошло загрязнение защитной пленки или рабочего места.

Для повторного измерения фона необходимо нажать кнопку *Общ. сброс* на задней панели прибора.

4. Определите удельную активность пробы. Для этого введите массу пробы (в граммах) с помощью цифровых клавиш и кнопки *В*.

С помощью кнопки *Объем* введите геометрию измерения (1,0 л, 0,5 или 0,1л).

Поместите кювету с исследуемым образцом в защитный домик.

В случае ошибочного ввода можно повторить набор веса пробы после нажатия кнопки *В*.

Начните измерение удельной активности путем нажатия кнопки *Пуск* – на индикаторе слева появятся изменяющиеся значения активности радионуклидов цезия в пробе (Бк/л; Бк/кг), а справа – абсолютное значение статической погрешности в тех же единицах измерения.

Измерения заканчиваются либо автоматически при достижении заданной погрешности, либо после нажатия кнопки *Стоп*. При этом предусмотрена выдача звукового сигнала. Для получения результата удельной активности радионуклида нажмите и удерживайте кнопку *Ф*.

После прекращения измерения пробы можно считать показания с цифрового индикатора, нажав кнопку *Един. изм.*, получите результат измерения (Бк/кг; Ки/кг) и значение статистической погрешности в процентах. Результаты измерений представьте в виде таблицы 9.

Таблица 9 – Результаты измерений

Номер показания прибора	Наименование материала	Измеренная удельная активность по ^{137}Cs		Измеренная удельная активность по ^{40}K	
		Бк/кг	Ки/кг	Бк/кг	Ки/кг
1					
2					
...					

Если дальнейшие пробы измеряются в той же геометрии, установите в защиту сосуд Маринелли с новой пробой, введите вес пробы и нажмите кнопку *Пуск*.

5. Для выключения радиометра тумблер *Сеть* переведите в положение *Выкл.*

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы основные методы регистрации и измерения ионизирующих излучений?
2. Как классифицируются дозиметрические приборы?
3. Для каких целей используется радиометр РКГ-01 «Алиот»?

4. К какому классу относится прибор РКГ-01 «Алиот»?
5. Каковы устройство и принцип действия прибора РКГ-01 «Алиот»?
6. В чем состоит различие между удельной и объемной активностью радионуклидов?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Гергалов, В. И. Радиация, жизнь и окружающая среда : учеб. / В. И. Гергалов, Е. П. Петряев. – Минск : Нар. асвета, 1994. – 159 с.

Защита населения и сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения : учеб. / А. В. Лежнев [и др.]. – Минск : Ураджай, 1993. – 256 с.

Лисовская, Д. П. Радиология пищевых продуктов : учеб. пособие для вузов / Д. П. Лисовская, Л. А. Галун, Г. С. Митюрин ; под общ. ред. Д. П. Лисовской. – Гомель : Бел. торгово-экон. ун-т потребит. кооп., 2003. – 296 с.

Проблемы радиологии загрязненных территорий : темат. сб. / Респ. научно-исслед. унитар. предприятие «Ин-т радиологии». – Минск : Ин-т радиологии, 2001. – 250 с.

Дополнительная литература

Савенко, В. С. Радиация. Физический и психологический аспекты : учеб. / В. С. Савенко, Тетер Холбурк. – Минск : Дизайн ПРО, 1996. – 176 с.

Дорожко, С. В. Руководство к лабораторным работам по защите населения и хозяйственных объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность / С. В. Дорожко ; под ред. И. В. Ролевича. – Минск : БНТУ, 2005. – 99 с.

Лисовская, Д. П. Пищевая радиология : учеб. пособие / Д. П. Лисовская, Л. А. Галун. – Гомель : ГКИ, 1993. – 367 с.

Савастенко В. А. Радиационная безопасность : учеб. пособие / В. А. Савастенко. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 151 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Справочные данные

Таблица А.1 – Коэффициенты перехода цезия-137 и стронция-90 в продукты питания

Продукты	Коэффициент перехода (Бк/кг; кБк/м ²)	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Молоко	0,2–3,7	0,1–0,4
Мясо (говядина)	1–4	0,2
Птица	1	0,6
Рыба *	5	2
Хлеб ржаной	0,6–0,8	0,4
Хлеб пшеничный	0,5–0,6	0,3
Картофель	0,2–4,6	0,1–0,5
Капуста	1,5–2	0,5-0,6
Свекла	3	0,6
Морковь	2	0,5
Яблоки	1,4	0,2–0,3
Грибы	60	1
* На территории водосброса реки.		

Таблица А.2 – Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99)

Наименование продуктов	Единица измерения Бк/кг, Бк/л
<i>Для цезия-137</i>	
Вода питьевая	10
Молоко и цельномолочная продукция	100
Молоко сгущенное и концентрированное	200
Творог и творожные изделия	50
Сыры сычужные и плавленые	50
Масло коровье	100

Окончание таблицы А.2

Наименование продуктов	Единица измерения Бк/кг, Бк/л
Мясо и мясные продукты: говядина, баранина и продукты из них	500
свинина, птица и продукты из них	180
Картофель	80
Хлеб и хлебобулочные изделия	40
Мука, крупы. Сахар	60
Жиры растительные	40
Жиры животные и маргарин	100
Овощи и корнеплоды	100
Фрукты	40
Садовые ягоды	70
Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод садовых	74
Дикорастущие ягоды и консервированные продукты из них	185
Грибы свежие	370
Грибы сушеные	2 500
Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	37
Прочие продукты питания	370
<i>Для стронция-90</i>	
Вода питьевая	0,37
Молоко и цельномолочная продукция	3,7
Хлеб и хлебобулочные изделия	3,7
Картофель	3,7
Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	1,85

Скорость счета, обусловленная содержанием калия-40 в пробе

Продукты	Скорость счета, обусловленная содержанием К-40 (импульсов в минуту)
Молоко и детские молочные смеси, кефир	3,0
Молоко сухое цельное	19,8
Молоко сгущенное стерилизованное	6,0
Молоко сгущенное с сахаром	7,8
Творог	2,4
Сыр	3,9
Масло сливочное	0,6
Сметана, сливки	2,4
Мясо и мясопродукты:	
баранина	6,6
говядина, телятина	6,6
свинина	5,4
субпродукты	4,8
колбаса и мясокопчености	8,4
птица	7,2
Яйца (меланж)	3,0
Рыба	6,0
Овощи:	
картофель	11,4
капуста	4,2
огурцы	4,2
помидоры	5,7
свекла	5,7
морковь	4,8
зелень	9,6
Фрукты свежие	5,1
ягоды свежие	7,2
Хлеб пшеничный	3,6
Хлеб ржаной	4,2
Макаронные изделия	3,6

Окончание

Продукты	Скорость счета, обусловленная содержанием К-40 (импульсов в минуту)
Крупы:	
манная	2,4
гречневая	3,3
рисовая	1,2
пшено	3,9
овсяная	6,0
перловая	3,3
кукурузная	3,0
горох лущеный	14,4
Мука:	
пшеничная высшего сорта	2,4
пшеничная 1-го сорта	3,6
пшеничная 2-го сорта	4,8
ржаная сеяная	2,1
ржаная обдирная	3,0
ржаная обойная	6,0
Зерновые:	
пшеница	7,8
рожь	8,4
овес	8,4
ячмень	9,0
просо	6,6
гречиха	10,2
рис	3,9
кукуруза	6,0
Зернобобовые:	
горох	17,4
фасоль	21,6
соя	31,8
Чай	49,2

СОДЕРЖАНИЕ

Пояснительная записка.....	3
Общие требования по подготовке и выполнению лабораторных работ.....	4
Требования по составлению отчета о выполнении лабораторных работ.....	6
Тематический план для студентов специальности «Товароведение и экспертиза товаров» специализации «Товароведение и экспертиза продовольственных товаров»	7
Задания лабораторных работ, методические указания по их выполнению и вопросы для самоконтроля	8
Лабораторная работа 1. Механизм действия радиоактивных излучений.....	8
Лабораторная работа 2. Пищевые цепи и радиоизотопы (йод, цезий, стронций) в пищевых цепях	18
Лабораторная работа 3. Практическое применение облучения пищевых продуктов	25
Лабораторная работа 4. Радиационная гигиена	31
Лабораторная работа 5. Методика отбора проб пищевых продуктов для определения содержания радионуклидов в пищевых продуктах	39
Лабораторная работа 6. Методы регистрации и контроля за содержанием радионуклидов в продуктах питания	44
Список рекомендуемой литературы	50
Приложения.....	51

Учебное издание

ПИЩЕВАЯ РАДИОЛОГИЯ

Практикум

**к лабораторным занятиям для студентов
специальности 1-25 01 09 «Товароведение и экспертиза
товаров» специализации 1-25 01 09 01 «Товароведение
и экспертиза продовольственных товаров»**

Авторы-составители:
Митюрин Георгий Семенович
Фаняев Иван Александрович

Редактор Е. В. Седро
Технический редактор И. А. Козлова
Компьютерная верстка Н. Н. Короедова

Подписано в печать 23.05.12. Бумага типографская № 1.
Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Гарнитура Таймс. Ризография.
Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 3,40. Тираж 95 экз.
Заказ №

Учреждение образования
«Белорусский торгово-экономический университет
потребительской кооперации».
246029, г. Гомель, просп. Октября, 50.
ЛИ № 02330/0494302 от 04.03.2009 г.

Отпечатано в учреждении образования
«Белорусский торгово-экономический университет
потребительской кооперации».
246029, г. Гомель, просп. Октября, 50.

**БЕЛКООПСОЮЗ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ТОРГОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ КООПЕРАЦИИ»**

Кафедра товароведения продовольственных товаров

ПИЩЕВАЯ РАДИОЛОГИЯ

Практикум

**к лабораторным занятиям для студентов
специальности 1-25 01 09 «Товароведение и экспертиза
товаров» специализации 1-25 01 09 01 «Товароведение
и экспертиза продовольственных товаров»**

Гомель 2012